

## INSTATIONÄRE HYDRAULIKBERECHNUNG

Die instationäre hydraulische Berechnung des bearbeiteten Kanalnetzes, erfolgt nach der Volumen-Ganglinien-Methode.

Die den instationären Abflussvorgang beschreibende Energiegleichung und die Kontinuitäts-gleichung wurden in die entsprechenden Differenzgleichungen umgewandelt. Diese beiden Differenzgleichungen beschreiben den Abflussvorgang in einem Netzelement, wobei unter einem Netzelement eine Rohrstrecke zu verstehen ist.

Der iterative Berechnungsablauf wird für jedes Zeitintervall der Regenzufluss-Ganglinie (Regenmodell mit max. 20 Zeitintervallen) bis maximal 300 Iterationen durchgeführt. Der verwendete Zeitschritt der iterativen Netzberechnung liegt aus Stabilitätsgründen und unter Verwendung der Courant-Bedingung

$$\Delta t \leq \frac{1}{\sqrt{g \times d}}$$

- $\Delta t$  Zeitschritt [s]
- $l$  Länge der Haltung [m]
- $d$  Durchmesser der Rohrleitung [m]
- $g$  Fallbeschleunigung [ $m/s^2$ ]

im Bereich von 4 bis 10 Sekunden, u. U. auch darunter. Wird die vorgebbare Fehler-schranke nach einer Berechnung mit 300 Iterationen nicht erreicht, erfolgt eine Fehlermeldung und die Berechnung wird mit der Berechnung des nächsten Zeitintervalls der verwendeten Regenzufluss-Ganglinie fortgesetzt. In diesem Falle sollten entweder die Fehlerschranke vergrößert oder die Netzdaten überprüft werden.

Zur Berechnung der Strömungsparameter in den einzelnen Rohrleitungen wird die Formel von PRANDL-COLEBROOK verwendet. Diese Beziehungen werden durch die Einsetzung des hydraulischen Radius auch für die Teilfüllungszustände der Leitungen verwendet.

$$\frac{1}{\sqrt{Rz}} = -2 \log \left[ \frac{2.51}{Re} \times \sqrt{Rz} + \frac{Kb}{D} \times 13.71 \right]$$

- $Rz$  Reibungszahl Lambda
- $Re$  Reynolds'sche zahl =  $v * D/v_{kin}$

- **v** Fließgeschwindigkeit [m/s]
- **D** Durchmesser [m]
- **v<sub>kin</sub>** kinematische Zähigkeit [m<sup>2</sup>/s]
- **K<sub>b</sub>** betriebliche Rauheit [m]

Die Teilfüllungskurven werden als Funktion der relativen Füllhöhe und der von der ATV empfohlenen Näherung ( $V_t/V_v = (R_t/R_v)^{**5/8}$ ) ermittelt.

- **V<sub>t</sub>, V<sub>v</sub>** Teil- bzw. Vollfüllungsgeschwindigkeit
- **R<sub>t</sub>, R<sub>v</sub>** hydraulischer Radius Teil- bzw. Vollfüllung

Voraussetzung für den ordnungsgemäßen Ablauf der instationären Hydraulikberechnung ist ein fehlerfreier und vollständiger Datenbestand. Eine Vordimensionierung des Netzes ist mittels Zeitbeiwertverfahren bzw. dem Bemessen einzelner Haltungen möglich. Durch das Programm erfolgt eine Datenprüfung auf Vollständigkeit sowie die Auflistung von möglichen fehlerhaften bzw. unbeabsichtigten Eingaben. Durch die Verwendung der VOLUMEN-GANGLINIEN-METHODE wird das Niederschlag-Abfluss-Geschehen im Kanalnetz in seinem örtlichen und zeitlichen Verlauf beschrieben.

Der Regen- und Mischwasserabfluss durch ein Kanalnetz ist mindestens zweifach instationär, weil der

- Regenwasserzufluss zeitlich nicht konstant ist und der
- Regenwasserzufluss durch das vorhandene dynamische Speichervolumen der Rohrleitung sehr stark beeinflusst wird.

Die VOLUMEN-GANGLINIEN-METHODE simuliert den instationären Abflussvorgang im Kanalnetz durch eine Bilanzrechnung zwischen Zufluss, Speicherung und Abfluss mit dem Ziel:

- den Abflussvorgang genauer zu erfassen und
- die Rohrleitungen und Nebenanlagen günstiger zu dimensionieren.

Sie gestattet die Nachrechnung bestehender Netze, insbesondere die Ermittlung von Rückstauhöhen und Abflussganglinien für beliebige Regenzuflussganglinien.

Bei Mischsystemen wird der Trockenwetterabfluss als Basisabfluss angesetzt.

Innerhalb der VOLUMEN-GANGLINIEN-METHODE erfolgt eine Rückstauberechnung. Außerdem werden Überlaufereignisse (Überstau) ausgewiesen.

Die VOLUMEN-GANGLINIEN-METHODE ist gegenüber dem Zeitbeiwertverfahren durch folgende Merkmale gekennzeichnet:

- Der BLOCKREGEN mit konstanter Spende und Dauer wird ersetzt durch eine REGENZUFLUSS-GANGLINIE, ermittelt aus örtlichen Regenmessungen. (BLOCKREGEN kann alternativ weiterhin gerechnet werden)

- Die Abflussverzögerung wird aus der Speicherbeziehung bestimmt.

$$\text{ABFLUSS} = \text{ZUFLUSS} - \text{SPEICHERUNG}$$

- Der instationäre Abflussvorgang, der exakt durch die Differentialgleichungen von ST. VENANT für offene Gerinne beschrieben ist, wird rechentechnisch in Anlehnung an KÖNIGER nach dem Differenzenverfahren gelöst.
- Jeder Abschnitt wird für jeden Zeitschritt wie allgemein üblich ATV-gerecht berechnet.
- In einer Vorrechnung unter Annahme geschätzter Wasserspiegel erfolgt die Abflussbestimmung für sämtliche Haltungen.
- Dabei wird die Wassermengenermittlung für ein beliebiges Netzelement erst durchgeführt, wenn alle strömungstechnisch oberhalb liegenden Elemente bereits berechnet wurden. Die daraus resultierende Berechnungsreihenfolge wird durch die im Hintergrund ablaufende Netzsortierung gewährleistet. In einer anschließenden Rückrechnung werden in umgekehrter Reihenfolge die zugehörigen Wassertiefen bestimmt.
- Der Wechsel von Vor- und Rückrechnungen wird solange durchgeführt, bis die Wasserspiegeländerung aller Elemente von einer Iteration zur nächsten innerhalb einer vorgegebenen Toleranz liegt.
- Die Iterationszahl hängt vom verwendeten Genauigkeitsgrad (Fehlerschranke), aber auch von der Netzcharakteristik und der gewählten Belastung ab.

## HINWEISE FÜR DEN PLANUNGSINGENIEUR

Soll ein Entwässerungsnetz nach der VOLUMEN-GANGLINIEN-METHODE berechnet werden, sind folgende Vorarbeiten notwendig:

- Trassierung der Entwässerungsleitungen mit Modul *Kanalplanung*.
- Ermittlung der Einzugsgebiete, Abflussbeiwerte und Zuflussmengen.
- Vordimensionierung mit Modul *Kanalplanung* (Funktion BEMESSEN).
- Variantenrechnungen für verschiedene Netzbelastungen.

Parallel dazu ist in Zusammenarbeit mit dem zuständigen meteorologischen Dienst die maßgebende Regenganglinie für das Planungsgebiet festzulegen.

In der Regel sollte auf standortabhängige repräsentative Ganglinien zurückgegriffen werden.

Für die praktische Berechnung muss die Ganglinie in entsprechende Zeitschritte unter Berücksichtigung des dynamischen Strömungsverhaltens (Verzögerungen) einzelner Stränge des Netzes sowie eines Benetzungs- und Muldenverlustes aufgeteilt werden.

## SONDERBAUWERKE

Neben den normalen Haltungen enthalten viele Abwassernetze auch Sonderbauwerke, wie zum Beispiel Entlastungsbauwerke, Drosseln, Speichereinrichtungen, Pumpen und Wehre. Diese Bauwerke müssen einer Haltung des Abwassernetzes zugeordnet werden und bei der hydraulischen Berechnung erfolgt dann die Simulation dieser Bauwerke. Dies erfolgt unter Verwendung der geometrischen und hydraulischen Parameter dieser Netzelemente und der vorhandenen Netztopologie.

Die Erzeugung und die hydraulische Berechnung der Sonderbauwerke kann nur bei gleichzeitig gestartetem Modul *Sonderbauwerke Kanal* oder *Kanalkataster* erfolgen.

## SPEICHEREINRICHTUNGEN

Über Speichereinrichtungen erfolgt eine Wasserspeicherung im Abwassernetz. Eine Speichereinrichtung wird einem Schacht zugeordnet. Der Schacht, an dem die Speichereinrichtung angeschlossen wird, fungiert bei der hydraulischen Berechnung als Speicherschacht.

## WEHRE

Über Wehre erfolgt eine Entlastung des Abwassernetzes. Ein Wehr wird einer Haltung zugeordnet. Am Anfangsschacht der zugeordneten Haltung ist das Wehr in seiner Funktion als Überfall angeordnet. Die Entlastung findet über die vorhandene Haltungsgometrie zum Endschacht der Haltung statt.

Für die Berechnung der Überlaufmenge über das Wehr sind Angaben zur Art und zur Geometrie des Wehres erforderlich. Es können Quer- und Seitenwehre berechnet werden. Außerdem ist die Angabe der Art der Wehrkrone, der Schwellenhöhe, der Schwellenlänge, der Kammerhöhe und die Angabe des Überfallbeiwertes notwendig. Auslasswehre werden nicht unterstützt.

Innerhalb des Moduls *Kanalplanung* können Wehre über **Bearbeiten > Erzeugen > Bauwerke** erzeugt werden. Die Eingabe der Wehrparameter erfolgt unter **Datenbank > Bauwerk > Wehr**.

In Abwassernetzen wird der Abfluss über ein Wehr auch als Überfall bezeichnet. In diesem Fall handelt es sich dabei um ein senkrecht angeströmtes Wehr. Man unterscheidet dabei zwischen einem vollkommenen und unvollkommenen Überfall.

Von einem vollkommenen Überfall, wenn eine Beeinflussung des Oberwasserstandes und damit der über das Wehr fallenden Wassermenge durch das Unterwasser nicht vorhanden ist.

Dies ist dann der Fall, wenn der Unterwasserstand unterhalb der Wehrschwelle liegt.

Von einem unvollkommenen Überfall spricht man, wenn der Unterwasserstand in der Höhe oder über der Wehrschwelle liegt. Die über das Wehr abfließende Wassermenge wird dabei vom Unterwasserstand nicht beeinflusst.

## SENKRECHT ANGESTRÖMTES WEHR MIT VOLLKOMMENEM ÜBERFALL

Die Überfallwassermenge ergibt sich bei Vernachlässigung der Anströmgeschwindigkeit, sie ist im angegebenen Überfallbeiwert enthalten, nach **ATV A111**, Gleichung 1a, zu

$$Q = \frac{2}{3} \times m_{\ddot{u}} \times (2g)^{0,5} \times b \times h_{\ddot{u}}^{1,5}$$

mit

- **Q** Überfallwassermenge [m<sup>3</sup>/s]
- **m<sub>ü</sub>** Überfallbeiwert
- **g** Erdbeschleunigung = 9,81 m/s<sup>2</sup>
- **b** Länge der Wehrkrone [m]
- **h<sub>ü</sub>** Überfallhöhe über die Wehrkrone [m]

## SENKRECHT ANGESTRÖMTES WEHR MIT UNVOLLKOMMENEM ÜBERFALL

Die Überfallwassermenge hängt hier vom Verhältnis Oberwasserstand zu Unterwasserstand, bezogen auf die Wehrkrone, ab. Diese Reduzierung der Überfallwassermenge wird durch Einführung des Beiwertes *c* in die Wehrformel durchgeführt. Die Überfallwassermenge über das Wehr ergibt sich zu:

$$Q = \frac{2}{3} \times c \times m_{\ddot{u}} \times (2g)^{0,5} \times b \times h_{\ddot{u}}^{1,5}$$

mit

- **c** Faktor in Abhängigkeit von Ober- und Unterwasserstand

Dieser Beiwert ist in Abhängigkeit von der Kronenform des Wehres und des Ober- und Unterwasserstandes in der Literatur angegeben. Die Berechnung erfolgt nach **ATV A111**, mit Gleichung 2, für scharfkantige, gerundete und breite Wehrkronen.

## STREICHWEHR

Im Gegensatz zu den senkrecht angeströmten Wehren gibt es Streichwehre. Bei dieser Wehrart verläuft die Wehrkrone parallel zur Anströmrichtung.

Streichwehre berechnen sich analog zu den senkrecht angeströmten Wehren mit

$$Q = \frac{2}{3} \times m_{\ddot{u}} \times (2g)^{0,5} \times b \times h_{\ddot{u}}^{1,5}$$

wobei im Beiwert  $m_{\ddot{u}}$  der Einfluss der Schräganströmung erfasst werden muss. In der Regel genügt es, für  $m_{\ddot{u}}$  95% des Beiwertes für senkrecht angeströmte Wehre anzusetzen. Die mittlere Wassertiefe  $h_m$  wird dabei aus den Geschwindigkeiten oberhalb des Wehres, den Reibungsverlusten im Wehrbereich und aus dem Oberwasserstand ermittelt.

Bei unvollkommenem Überfall erfolgt ebenfalls eine Abminderung der Überfallwassermenge mit dem Beiwert  $c$ .

## DROSSELN

Über Drosseln erfolgt eine Durchflussbegrenzung in einer Haltung des Abwassernetzes. Ziel ist es oft den Zufluss zur Kläranlage zu begrenzen. Wenn der maximale Durchfluss durch die Haltungsgeometrie nicht hinreichend genau begrenzt werden kann, so ist über die Angabe des Drosselabflusses der exakte Zufluss zur Kläranlage des Abwassernetzes vorgebbar.

- Eine Drossel wird einer Haltung zugeordnet.
- Der Normalabfluss sowie die eingedrosselte Abflussmenge fließt über die vorhandene Haltungsgeometrie der angeschlossenen Haltung ab.
- Eine Drossel wird über den Sonderbauwerkstyp 'Drossel-Dücker' realisiert.
- Die maximale Durchflussmenge der Drossel wird über den Parameter *Nennleistung* definiert.
- Die Eingabe dieses Parameters erfolgt unter **Datenbank > Bauwerk > Drossel-Dücker**.

## EINLEITUNGSSTELLE

Über Einleitungsstellen erfolgt die Definition der Einleitungsparameter am Auslass des Abwassernetzes. Eine Einleitungsstelle wird einem Endschacht einer Haltung zugeordnet. ES werden nur Einleitungsstellen an den Strangenden berücksichtigt.

Für angeschlossene Einleitungsstellen wird nur die Randbedingung konstanter Wasserstand unterstützt. Bei dieser Bedingung muss ein Wasserspiegel angegeben sein.

Als Daten der Einleitungsstelle für die hydraulische Berechnung wird der Auslaststyp, freier Auslass, die Randbedingung am Auslass mit konstanter Wasserspiegel, benötigt.

Im Berechnungsprotokoll erfolgt die Angabe des Wasserspiegels am jeweiligen Netzende.

## PUMPEN

Über Pumpen erfolgt eine genaue Definition des Durchflusses, über Leistungs- und Schaltstufen, in einer Haltung des Abwassernetzes. Ziel ist es oft den Zufluss zur Kläranlage zu begrenzen. Über die Pumpenparameter kann für die angeschlossene Haltung ein genau definierter Abfluss in Abhängigkeit vom Volumen oder dem Wasserstand im Anfangsschacht der angeschlossenen Haltung erzielt werden.

- Eine Pumpe wird einer Haltung zugeordnet.
- Die ermittelte Fördermenge der Pumpe wird vom Anfangs- zum Endschacht der angeschlossenen Haltung gepumpt.
- Eine Pumpe wird über den Sonderbauwerkstyp 'Pumpe' realisiert.
- Die Eingabe der erforderlichen Pumpenparameter für die hydraulische Berechnung erfolgt unter **Datenbank > Bauwerk > Pumpen > Register Hydraulik**.
- Vor der hydraulischen Berechnung erfolgt eine Prüfung der definierten Pumpenparameter.



## LITERATUR

- [1] ATV-DVWK (2001): Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 110:  
Hydraulische Dimensionierung und Leistungsnachweis von Abwasserkanälen und -leitungen
- [2] ATV (1994): Arbeitsblatt ATV-A 111:  
Richtlinien für die hydraulische Dimensionierung und den Leistungsnachweis von Regenwasser-Entlastungsanlagen in Abwasserkanälen und -leitungen
- [3] ATV (1999): Arbeitsblatt ATV-A 118:  
Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen
- [4] ATV (1984): Arbeitsblatt ATV-A119:  
Grundsätze für die Berechnung von Entwässerungsnetzen mit elektronischen Datenverarbeitungsanlagen
- [5] ATV (1985): Arbeitsblatt ATV-A 121:  
Niederschlag – Starkregenauswertung nach Wiederkehrzeit und Dauer; Niederschlagsmessungen
- [6] DIN-EN 752 Teil1 – 5:  
Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden
- [7] DWD:  
Starkniederschlagshöhen für Deutschland (KOSTRA)
- [8] ISYBAU:  
Austauschformate Abwasser (zu beziehen über [www.ofd-hannover.de/awt](http://www.ofd-hannover.de/awt))
- [9] Königer, W., Klym, H.:  
Nichtlineare hydrologische Modelle in der Stadtentwässerung.  
gwf - Wasser/Abwasser 113 (1972), H. 9, S. 430/435
- [10] Königer, W., et al.:  
Anwendung eines komplexen Abflussmodells in der Stadtentwässerung. Elektronische Berechnung von Rohr- und Gerinneströmungen, S. 455/468.  
Hg. W. Zielke, E. Schmidt Verlag, München ( 1974)
- [11] Overton, D. E., Meadows, M. E.:  
Stormwater Modelling, Academic Press, New York (1976) 358 S.
- [12] Otter, J., Königer, W.:  
Bemessungsregen für Kanalnetz, Regenüberläufe und Regenbecken.  
Gas-Wasser-Abwasser 66 ( 1986) Nr. 3, S. 124 - 128